

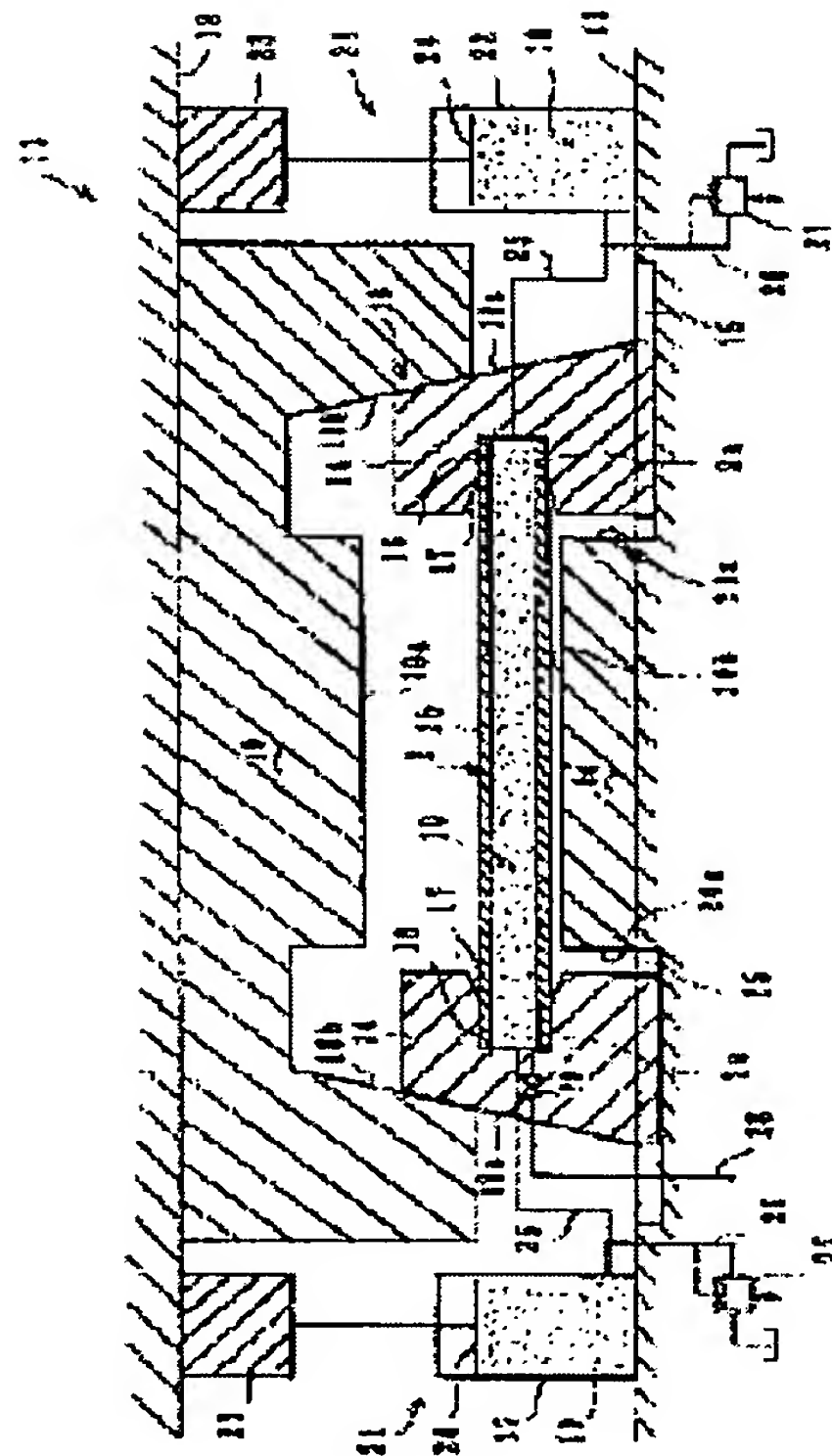
METHOD AND APPARATUS FOR EXPANDING AND FORMING PIPE BODY

Patent number: JP2002143938
Publication date: 2002-05-21
Inventor: NAGAI YASUTOMO
Applicant: PRESS KOGYO CO LTD
Classification:
- International: B21D26/02
- european:
Application number: JP20000340892 20001108
Priority number(s):

Report a data error here

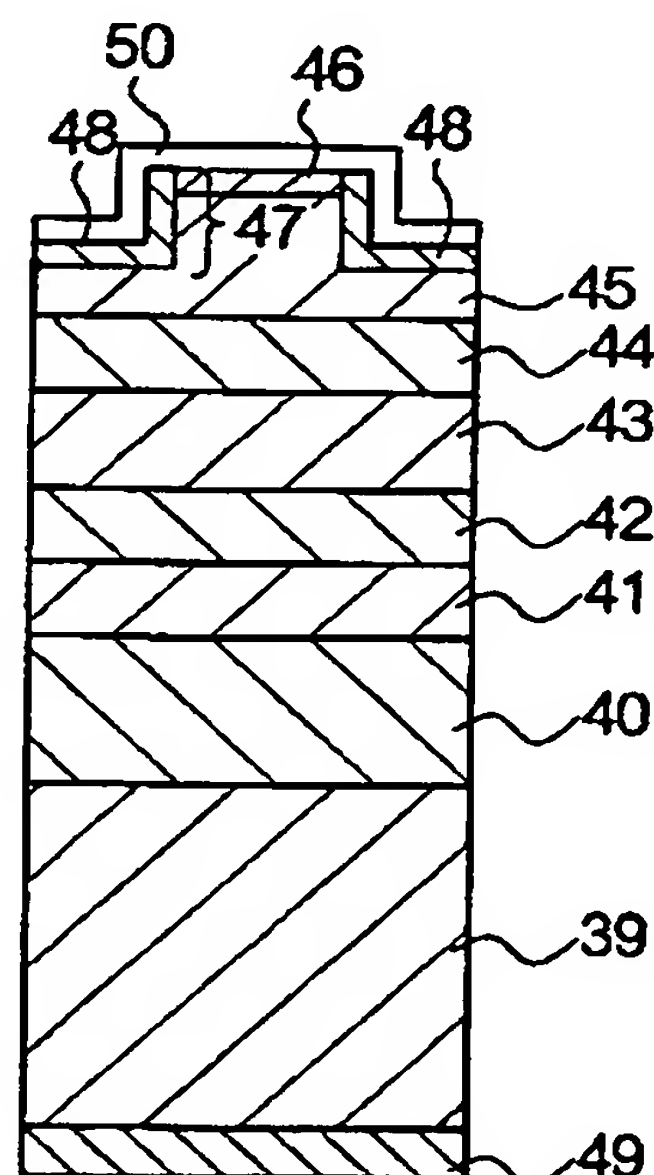
Abstract of JP2002143938

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and an apparatus for expanding and forming a pipe body which is formed in one stroke using a general purpose press.
SOLUTION: After filling up liquid 10 inside the pipe body 2, by further injecting the liquid 10 into the inside while compressing the pipe body 2 in the axial direction, the middle part 2b is expanded with axial force and hydraulic pressure with both end parts 2a of the pipe body 2 left in the size of a base stock. Next, by pressing the middle part 2b expanded with the liquid sealed inside the pipe body 2 from the outside, the pipe body is formed into a desired shape.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

Best Available Copy



【特許請求の範囲】

【請求項1】 有機金属気相成長法により製造された化合物半導体装置において、半導体基板と、

この上表面に順次重ねて形成された、組成が同様な複数の化合物半導体層と、

前記半導体基板に形成された第1の電極と、

最上層の前記化合物半導体層に形成された第2の電極とを具備し、

前記化合物半導体層毎に形成されるとききの気相成長の圧力が異なることを特徴とする化合物半導体装置。

【請求項2】 前記化合物半導体層が $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y \geq 0, x+y \leq 1$) からなる窒化物半導体であることを特徴とする請求項1記載の化合物半導体装置。

【請求項3】 前記化合物半導体層が、Alを含んだ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体を成長させた一の化合物半導体層と、Alを含まない $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x \leq 1$) の化合物半導体を成長させた他の化合物半導体層からなる窒化物半導体とであり、前記一の化合物半導体層の成長圧力が、前記他の化合物半導体層の成長圧力より低いことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の化合物半導体装置。

【請求項4】 前記一の化合物半導体層、すなわちAlを含んだ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体を成長させるとききの成長圧力が300Torr以下であることを特徴とする請求項3に記載の化合物半導体装置。

【請求項5】 前記第2の電極がp型電極であり、前記半導体基板の表面に形成された、このp型電極と接する最上層の前記化合物半導体層が、p型の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体で形成されたpコンタクト層であり、このpコンタクト層の成長圧力が他の化合物半導体層の成長圧力とひかくして高いことを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の化合物半導体装置。

【請求項6】 有機金属気相成長法による窒化物系化合物半導体装置の製造方法において、

組成が同様な複数の化合物半導体層を異なった気相成長の圧力により、半導体表面に順次重ねて形成する工程を有することを特徴とする化合物半導体装置の製造方法。

【請求項7】 前記化合物半導体層が $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y \geq 0, x+y \leq 1$) からなる窒化物半導体であることを特徴とする請求項6記載の化合物半導体装置。

【請求項8】 前記化合物半導体層が、Alを含んだ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体を成長させた一の化合物半導体層と、Alを含まない $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x \leq 1$) の化合物半導体を成長させた他の化合物半導体層からなる窒化物半導体とであり、前記一の化合物半導体層の成長圧力が、前記他の化合物半導体層の成長圧力より低いことを特徴とする請求項6または請

求項7に記載の化合物半導体装置。

【請求項9】 前記一の化合物半導体層、すなわちAlを含んだ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体を成長させるとききの成長圧力が300Torr以下であることを特徴とする請求項8に記載の化合物半導体装置。

【請求項10】 前記第2の電極がp型電極であり、前記半導体基板の表面に形成された、このp型電極と接する最上層の前記化合物半導体層が、p型の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体で形成されたpコンタクト層であり、このpコンタクト層の成長圧力が他の化合物半導体層の成長圧力とひかくして高いことを特徴とする請求項6ないし請求項9のいずれかに記載の化合物半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化物系の化合物半導体 (In (インジウム) XAl (アルミニウム) YGa (ガリウム) $1-x-y\text{N}$ (窒素), $x \geq 0, y \geq 0, x+y \leq 1$) 装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化物系化合物半導体レーザ結晶における有機金属気相成長法の成長は、アプライド・フィジックス・レターズ (APPLIED PHYSICS LETTERS) 第70巻 1417頁 1997年に記載されているように成長圧力を常圧 (760Torr) としていたり、また、エレクトロニクス・レターズ (ELECTRONICS LETTERS) 第34巻 1494頁 1998年に記載されているように700Torrに設定している例があり、何れも室温連続発振を達成している。

【0003】さらに、他の窒化物系化合物半導体レーザ結晶における有機金属気相成長法の成長は、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス (JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS) 第38巻 2B 184頁 1999年に記載されているように、100Torrの有機金属気相成長法により行われている。そして、この製造方法で形成された窒化物系化合物半導体レーザは、室温連続発振に成功している。この窒化物系化合物半導体レーザの基板面に垂直な断面構造を図6に示した。

【0004】この図において、 $n\text{-Ga}\text{N}$ 半導体基板101表面にSi (シリコン) がドーパされた n 型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ (シリコン濃度 4×10^{17} 、厚さ $1 \mu\text{m}$) からなる n 型クラッド層102が形成されている。また、 n 型クラッド層102表面に、Siがドーパされた n 型 GaN (シリコン濃度 4×10^{17} 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$) からなる n 型の光閉じ込め層103が形成されている。

【0005】また、 n 型の光閉じ込め層103の表面に、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ (厚さ3nm) からなる井戸層と $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ (厚さ5nm) バリア層とから構成され

るアンドープMQW (多量子井戸) 層104 (井戸数3個) が形成されている。さらに、アンドープMQW層104表面に、Mg (マグネシウム) がドーパされたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nからなるキャップ層105が形成されている。

【0006】さらに、また、キャップ層105の表面に、Mgがドーパされたp型GaN (Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$) からなるp型光閉じ込め層106が形成されている。また、さらに、p型光閉じ込め層106の表面に、Mgがドーパされたp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N (Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ $0.5 \mu\text{m}$) からなるp型クラッド層107が形成されている。

【0007】また、p型クラッド層107の表面に、Mgがドーパされたp型GaN (Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$) からなるp型コンタクト層108が形成されている。上述したように、各化合物半導体の層を半導体基板101表面に順次成長させて、LD (レーザダイオード) 構造を形成する。前述したレーザダイオード構造は、100 Torrの減圧MOCVD (有機金属化学気相成長) 装置で成長が行われる。

【0008】N (窒素) の材料は、アンモニアが用いられ、Ga, Al, Inの材料は、TMG (トリメチルガリウム)、TMA (トリメチルアルミニウム)、TMI (トリメチルインジウム) が各々用いられている。

【0009】前述した各化合物半導体層の成長温度は、InGa_{0.9}NのMQW活性層104が780°Cであり、その他の化合物半導体層がすべて1050°Cで行われた。ドライエッチングにより、p型クラッド層107及びp型コンタクト層108を含んだメサ型109を、部分的に残した後、SiO₂絶縁膜110を形成し、メサ部分の頭出しを露光技術により行い、リッジ構造を形成した。

【0010】また、n型の半導体基板101の裏面には、Ti (チタン) / Alからなるn電極111を形成し、p型コンタクト層108表面には、Ni (ニッケル) / Au (金) からなるp電極112を形成した。この化合物半導体装置であるLD素子は、室温連続条件で、しきい値電流密度 10.9 KA/cm^2 、電圧10.5 Vであった。このように、様々な成長圧力で試作された半導体レーザが室温連続発振に成功している。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した化合物半導体装置の製造方法において、図6の従来例の半導体レーザの断面図をみても分かるように、半導体レーザは何種類かの異なった材料で構成されている。このため、層を形成する材質の種類によっては、成長圧力により半導体レーザの特性が劣化してしまう欠点がある。

【0012】例えば、図6において、p型コンタクト層108のであるMgがドーパされたGa_{0.9}Nは、Ga_{0.9}N結晶におけるNが抜けるとコンタクト特性が劣化することが

実験で明らかとなっている。特に、100 Torrの有機金属気相成長 (MOCVD) 法では、成長中にGa_{0.9}N結晶からNが抜け易いことが分かっている。

【0013】また、p型クラッド層107、n型クラッド層102に用いているAl_{0.1}Ga_{0.9}Nは、成長圧力を高くするとアンモニアとTMAとが中間反応を起こす。これにより、Al組成や成長レートの面内分布が著しく劣化し、Mgドーピングも面内分布が悪くなることが確認されている。この現象は、アンモニアとTMAとの中間反応で生成された物質がMgを吸着するものと推測される。

【0014】上述した欠点は、半導体レーザ作製時の歩留まりを著しく劣化させる要因となる。従って、従来の成長圧力を固定した状態の膜成長法において、100 Torrの減圧下における成長では、pコンタクト層108が劣化する。この結果、半導体レーザの動作電圧が高くなり、一方、成長圧力を高くすると素子の歩留まりが悪くなる問題がある。

【0015】本発明はこのような背景の下になされたもので、動作電圧を高くせず、長寿命かつ製造時の歩留まりを向上させる窒化物半導体装置及びその製造方法を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、有機金属気相成長法により製造された化合物半導体装置において、半導体基板と、この上表面に順次重ねて形成された、組成が同様な複数の化合物半導体層と、前記半導体基板に形成された第1の電極と、最上層の前記化合物半導体層に形成された第2の電極とを具備し、前記化合物半導体層毎に形成されるとききの気相成長の圧力が異なることを特徴とする。

【0017】請求項2記載の発明は、請求項1記載の化合物半導体装置において、前記化合物半導体層がIn_xAl_yGa_{1-x-y}N ($x \geq 0, y \geq 0, x+y \leq 1$) からなる窒化物半導体であることを特徴とする。

【0018】請求項3記載の発明は、請求項1または請求項2に記載の化合物半導体装置において、前記化合物半導体層が、Alを含んだIn_xAl_yGa_{1-x-y}N ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体を成長させた一の化合物半導体層と、Alを含まないIn_xGa_{1-x}N ($x \leq 1$) の化合物半導体を成長させた他の化合物半導体層からなる窒化物半導体とであり、前記一の化合物半導体層の成長圧力が、前記他の化合物半導体層の成長圧力より低いことを特徴とする。

【0019】請求項4記載の発明は、請求項3に記載の化合物半導体装置において、前記一の化合物半導体層、すなわちAlを含んだIn_xAl_yGa_{1-x-y}N ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体を成長させるとききの成長圧力が300 Torr以下であることを特徴とする。

【0020】請求項5記載の発明は、請求項1ないし請

求項4のいずれかに記載の化合物半導体装置において、前記第2の電極がp型電極であり、前記半導体基板の表面に形成された、このp型電極と接する最上層の前記化合物半導体層が、p型の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体で形成されたpコンタクト層であり、このpコンタクト層の成長圧力が他の化合物半導体層の成長圧力とひかくして高いことを特徴とする。

【0021】請求項6記載の発明は、有機金属気相成長法による窒化物系化合物半導体装置の製造方法において、組成が同様な複数の化合物半導体層を異なった気相成長の圧力により、半導体表面に順次重ねて形成する工程を有することを特徴とする。

【0022】請求項7記載の発明は、特徴とする請求項6記載の化合物半導体装置において、前記化合物半導体層が $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y \geq 0, x+y \leq 1$) からなる窒化物半導体であることを。

【0023】請求項8記載の発明は、請求項6または請求項7に記載の化合物半導体装置において、前記化合物半導体層が、Alを含んだ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体を成長させた一の化合物半導体層と、Alを含まない $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x \leq 1$) の化合物半導体を成長させた他の化合物半導体層からなる窒化物半導体とであり、前記一の化合物半導体層の成長圧力が、前記他の化合物半導体層の成長圧力より低いことを特徴とする。

【0024】請求項9記載の発明は、請求項8に記載の化合物半導体装置において、前記一の化合物半導体層、すなわちAlを含んだ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体を成長させるときの成長圧力が300Torr以下であることを特徴とする。

【0025】請求項10記載の発明は、請求項6ないし請求項9のいずれかに記載の化合物半導体装置において、前記第2の電極がp型電極であり、前記半導体基板の表面に形成された、このp型電極と接する最上層の前記化合物半導体層が、p型の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) の化合物半導体で形成されたpコンタクト層であり、このpコンタクト層の成長圧力が他の化合物半導体層の成長圧力とひかくして高いことを特徴とする。

【0026】本発明の窒化物半導体素子では、有機金属気相成長法による基板上に形成された2種類以上の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y \geq 0, x+y \leq 1$) からなる窒化物半導体であって、各層の成長圧力が異なることを特徴とする。また、有機金属気相成長法による基板上に形成されたAlを含んだ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) 層と、Alを含まない $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x \leq 1$) 層からなる窒化物半導体であって、Alを含んだ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) 層の成長圧力が、Alを含まない $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x \leq 1$) 層の成長圧力より低いことを特徴とする。

【0027】さらに、有機金属気相成長法による基板上に形成されたAlを含んだ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) 層の成長圧力が300Torr以下を特徴とする。有機金属気相成長法による基板上に形成された2種類以上の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y \geq 0, x+y \leq 1$) からなる窒化物半導体であって、p電極に接するp型 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) pコンタクト層の成長圧力が、他の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($x \geq 0, y > 0, x+y \leq 1$) 層の成長圧力に比べ高いことを特徴とする。

10 【0028】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。

<第1の実施形態>図1は本発明の第1の実施形態による半導体レーザ（窒化物半導体発光素子）の構造断面図である。n型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ の半導体基板1表面にMOCVD法により形成されるLD（レーザダイオード）構造及びその製造方法の説明を行う。

20 【0029】まず、成長圧力を100Torr、成長温度を1050℃に設定し、n型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ の半導体基板1表面にSiがドーパされたn型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ （シリコン濃度 4×10^{17} 、厚さ1μm）からなるn型クラッド層2を形成する。そして、成長圧力760Torrまで上げて、同じ成長温度1050℃において、n型クラッド層2表面に、Siがドーパされたn型のGaN（シリコン濃度 4×10^{17} 、厚さ0.1μm）からなるn型光閉じ込め層3を形成する。

30 【0030】ここで、成長圧力760Torr、成長温度を780℃に設定し、n型光閉じ込め層3表面に、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ （厚さ3nm）の井戸層と、 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ （厚さ5nm）のバリア層とからなるアンドープMQW層4（井戸数3個）を成長する。そして、成長温度を1050℃に設定し、成長圧力を100Torrに下げ、アンドープMQW層4表面に、Mgがドーパされたp型の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ （Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ20nm）からなるキャップ層5を形成する。

40 【0031】次に、成長温度を1050℃において、成長圧力を760Torrに上げ、キャップ層5表面に、Mgがドーパされたp型のGaN（Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ0.1μm）からなるp型光閉じ込め層6を形成する。そして、成長温度を1050℃において、成長圧力を100Torrに下げ、p型光閉じ込め層6表面に、Mgドーパp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ （Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ0.5μm）からなるp型クラッド層7を成長する。

50 【0032】次に、成長温度を1050℃において、成長圧力を760Torr上げ、Mgがドーパされたp型のGaN（Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ0.1μm）からなるp型コンタクト層8を成長させる。上述した各層の製造順序により、LD構造を順次形成させる。そして、ドライエッチングによりp型クラッド層7及びp型コンタクト層8を含んだメサ型9を部分的に残した構造を作成した

後、 SiO_2 絶縁膜10を積層し、メサ部分の頭出しを露光技術により行い、リッジ構造(リッジ導波路)を形成した。

【0033】また、n型の半導体基板の裏面には、Ti/Alからなるn電極11を形成し、p型コンタクト層8表面には、Ni/Auからなるp電極12を形成する。第1の実施形態例では、半導体基板1としてn型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N基板を用いたが、代わりにサファイア、SiC、Ga_{0.9}Nなどでもよく、基板の電気的な極性もp型でもi型でも良い。

【0034】さらに、第1の実施形態では、n型クラッド層2、キャップ層5及びp型クラッド層7のAlGa_{0.9}Nの形成時の成長圧力を100 Torrにしたが、760 Torr以下であればよく、好ましくは300 Torr以下であればよい。また、さらに、このAlGa_{0.9}N以外の層における成長圧力は、760 Torrとしたが、300 Torr以上であればよく、常圧以上でもよい。

【0035】上述したように、第1の実施形態の半導体レーザによれば、300 Torr以下の低圧力でAlGa_{0.9}Nの層の成長を行うことにより、TMAとアンモニアとの中間反応が抑制される。これにより、AlGa_{0.9}Nの層におけるAl組成、成長レート、Mgドーピング濃度等の面内不均一性が解消され、製造における窒化物半導体素子の歩留まりを向上させることができる。

【0036】また、第1の実施形態の半導体レーザによれば、p型コンタクト層8の形成時に成長圧力を300 Torr以上とすることにより、実効的な窒素原料の圧力が大きくなり、AlGa_{0.9}Nの層からの窒素抜けの少ない窒化物半導体を実現できる。このような窒素抜けの少ない窒化物半導体のAlGa_{0.9}Nの結晶により、p型コンタクト層8とp電極12とでコンタクトをとると、窒素抜けしたpコンタクト層のコンタクト抵抗に比較して、コンタクトの抵抗値を低く(従来と比較して1桁以上)抑えることが可能となる。

【0037】<第2の実施形態>図2は、本発明の第2の実施形態による窒化物半導体発光素子の構造断面図である。この図において、n型のGa_{0.9}N基板13表面にMOCVD法により形成されるLED(発光ダイオード)構造及びその製造方法の説明を行う。

【0038】まず、成長圧力を100 Torr、成長温度を1050℃に設定し、Ga_{0.9}N基板13表面に、Siがドーピングされたn型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N(シリコン濃度 4×10^{17} 、厚さ0.2 μm)からなるn型クラッド層14を形成させる。そして、成長圧力760 Torrまで上げて、成長温度を780℃に設定し、n型クラッド層14表面に、In_{0.1}Ga_{0.9}N(厚さ20 nm)からなる活性層15を成長させる。

【0039】次に、成長温度を1050℃に設定し、成長圧力を100 Torrに下げ、活性層15表面に、Mgがドーピングされたp型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N(Mg濃度 2×10^{17} 、

17、厚さ0.2 μm)からなるp型クラッド層16を形成させる。そして、成長温度1050℃において、成長圧力を760 Torrに設定して、Mgがドーピングされたp型のGa_{0.9}N(Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ0.1 μm)からなるp型コンタクト層17を成長させる。上述した各層の製造順序により、LED構造を順次形成させる。

【0040】次に、n型のGa_{0.9}N基板13の裏面には、Ti/Alからなるn電極18を形成し、pコンタクト層17表面には、Ni/Auからなるp電極19を形成する。また、第2の実施形態では、n型のGa_{0.9}N基板13を用いたが、代わりにサファイア、SiC、AlGa_{0.9}Nなどでもよく、基板の電気的な極性もp型でもi型でも良い。

【0041】さらに、第2の実施形態では、n型クラッド層14及びp型クラッド層16などのAlGa_{0.9}Nの成長圧力を100 Torrにしたが、760 Torr以下であればよく、好ましくは300 Torr以下であればよい。さらに、また、AlGa_{0.9}N以外の層における成長圧力は、760 Torrとしたが、300 Torr以上であればよく、常圧以上でもよい。

【0042】上述したように、第2の実施形態の発光ダイオードによれば、300 Torr以下の低圧力でAlGa_{0.9}Nの層の成長を行うことにより、TMAとアンモニアとの中間反応が抑制される。これにより、AlGa_{0.9}Nの層におけるAl組成、成長レート、Mgドーピング濃度等の面内不均一性が解消され、製造における窒化物半導体素子の歩留まりを向上させることができる。

【0043】また、第2の実施形態の発光ダイオードによれば、p型コンタクト層17の形成時に成長圧力を300 Torr以上とすることにより、実効的な窒素原料の圧力が大きくなり、AlGa_{0.9}Nの層からの窒素抜けの少ない窒化物半導体を実現できる。このような窒素抜けの少ない窒化物半導体のAlGa_{0.9}Nの結晶により、p型コンタクト層17とp電極19とでコンタクトをとると、窒素抜けしたpコンタクト層のコンタクト抵抗に比較して、コンタクトの抵抗値を低く(従来と比較して1桁以上)抑えることが可能となる。

【0044】<第3の実施形態>図3は、本発明の第3の実施形態による半導体レーザ(窒化物半導体発光素子)の構造断面図である。この図において、n型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N基板20表面にMOCVD法により形成されるLD(レーザダイオード)構造及びその製造方法の説明を行う。

【0045】まず、成長圧力を100 Torr、成長温度を1050℃に設定し、Al_{0.1}Ga_{0.9}N基板20表面に、Siがドーピングされたn型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N(シリコン濃度 4×10^{17} 、厚さ1 μm)からなるn型クラッド層21を形成する。そして、成長圧力を100 Torr、成長温度を1050℃において、n型クラッド層21表面に、Siドーピングn型Ga_{0.9}N(シリコン濃度 4×10^{17} 、

厚さ $0.1\mu\text{m}$)からなるn型光閉じ込め層22を形成する。

【0046】次に、成長圧力を100Torr、成長温度を780℃に設定し、n型光閉じ込め層22表面に、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ (厚さ3nm) 井戸層と、 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ (厚さ5nm) バリア層とからなるアンドープMQW層23 (井戸数3個) を成長させる。そして、成長圧力を100Torr、成長温度を1050℃に設定し、アンドープMQW層23表面に、Mgがドーパされたp型の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ (Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ20nm) からなるキャップ層24を形成する。

【0047】次に、成長圧力を100Torr、成長温度を1050℃において、キャップ層24表面に、Mgがドーパされたp型のGaN (Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ $0.1\mu\text{m}$) からなるp型光閉じ込め層25を形成させる。そして、成長圧力を100Torr、成長温度を1050℃において、p型光閉じ込め層25表面に、Mgがドーパされたp型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ (Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ $0.5\mu\text{m}$) からなるp型クラッド層26を成長させる。

【0048】次に、成長温度を1050℃において、成長圧力を760Torrに上げて、p型クラッド層26表面に、Mgがドーパされたp型のGaN (Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ $0.1\mu\text{m}$) からなるp型コンタクト層27を成長させる。上述した各層の製造順序により、LED構造を順次形成させる。

【0049】ドライエッチングにより、p型クラッド層26そしてp型コンタクト層27を含んだメサ型28を部分的に残した構造を作成した後、 SiO_2 絶縁膜29を積層し、メサ部分の頭出しを露光技術により行い、リッジ構造を形成した。

【0050】また、n型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 基板20裏面には、Ti/Alからなるn電極30を形成させる。そして、pコンタクト層27表面には、Ni/Auからなるp電極31を形成させる。上述した第3の実施形態では、n型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 基板20を用いたが、代わりに、サファイア、SiC、GaNなどでもよく、半導体基板の電気的な極性もp型でもi型でも良い。さらに、第3の実施形態では、pコンタクト層27の成長圧力を760Torrにしたが、成長圧力は高い方が望ましい。

【0051】上述したように、第3の実施形態の半導体レーザによれば、300Torr以下の低圧力でAlGaNの層の成長を行うことにより、TMAとアンモニアとの中間反応が抑制される。これにより、AlGaNの層におけるAl組成、成長レート、Mgドーピング濃度等の面内不均一性が解消され、製造における窒化物半導体素子の歩留まりを向上させることができる。

【0052】また、第3の実施形態の半導体レーザによれば、p型コンタクト層27の形成時に成長圧力を300Torr以上とすることにより、実効的な窒素原料の圧

力が大きくなり、AlGaNの層からの窒素抜けの少ない窒化物半導体を実現できる。このような窒素抜けの少ない窒化物半導体のAlGaNの結晶により、p型コンタクト層27とp電極31とでコンタクトをとると、窒素抜けしたpコンタクト層のコンタクト抵抗に比較して、コンタクトの抵抗値を低く (従来と比較して1桁以上) 抑えることが可能となる。

【0053】<第4の実施形態>図4は、本発明の第4の実施形態による発光ダイオード (窒化物半導体発光素子) の構造断面図である。この図において、n型のGaN基板32表面にMOCVD法により形成されるLED (発光ダイオード) 構造及びその製造方法の説明を行う。

【0054】まず、成長圧力を100Torr、成長温度を1050℃に設定し、GaN基板32表面に、Siがドーパされたn型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ (シリコン濃度 4×10^{17} 、厚さ $0.2\mu\text{m}$) からなるn型クラッド層33を形成させる。そして、成長圧力を100Torr、成長温度を780℃に設定し、n型クラッド層33表面に、 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ (厚さ20nm) からなる活性層34を成長させる。

【0055】次に、成長圧力を100Torr、成長温度を1050℃に設定し、活性層34表面に、Mgがドーパされたp型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ (Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ $0.2\mu\text{m}$) からなるp型クラッド層35を形成させる。そして、成長温度1050℃において、成長圧力を760Torrに上げて、p型クラッド層35表面に、Mgがドーパされたp型のGaN (Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ $0.1\mu\text{m}$) からなるp型コンタクト層36を成長させる。

【0056】上述した各層の製造順序により、LED構造を形成する。また、n型のGaN基板32裏面には、Ti/Alからなるn電極37を形成させる。さらに、pコンタクト層36表面には、Ni/Auからなるp電極38を形成させる。

【0057】さらに、また、第4の実施形態では、n型のGaN基板32を用いたが、代わりに、サファイア、SiC、AlGaNなどでもよく、半導体基板の電気的な極性もp型でもi型でも良い。また、さらに、第4の実施形態では、pコンタクト層36の成長圧力を760Torrにしたが、成長圧力は高い方が望ましい。

【0058】上述したように、第4の実施形態の発光ダイオードによれば、300Torr以下の低圧力でAlGaNの層の成長を行うことにより、TMAとアンモニアとの中間反応が抑制される。これにより、AlGaNの層におけるAl組成、成長レート、Mgドーピング濃度等の面内不均一性が解消され、製造における窒化物半導体素子の歩留まりを向上させることができる。

【0059】また、第4の実施形態の発光ダイオードによれば、p型コンタクト層36の形成時に成長圧力を3

00 Torr以上とすることにより、実効的な窒素原料の圧力が大きくなり、AlGa_{0.9}Nの層からの窒素抜けの少ない窒化物半導体の実現できる。このような窒素抜けの少ない窒化物半導体のAlGa_{0.9}Nの結晶により、p型コンタクト層36とp電極38とでコンタクトをとると、窒素抜けしたpコンタクト層のコンタクト抵抗に比較して、コンタクトの抵抗値を低く（従来と比較して1桁以上）抑えることが可能となる。

【0060】＜第5の実施形態＞図4は、本発明の第4の実施形態による半導体レーザ（窒化物半導体発光素子）の構造断面図である。この図において、n型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N基板39表面にMOCVD法により形成されるLD（レーザダイオード）構造及びその製造方法の説明を行う。

【0061】まず、成長圧力を100 Torr、成長温度を1050℃に設定し、Al_{0.1}Ga_{0.9}N基板39表面に、Siがドーパされたn型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N（シリコン濃度 4×10^{17} 、厚さ1 μ m）からなるn型クラッド層40を形成させる。そして、成長温度を1050℃において、成長圧力760 Torrまで上げて、n型クラッド層40において、Siドーパn型Ga_{0.9}N（シリコン濃度 4×10^{17} 、厚さ0.1 μ m）からなるn型光閉じ込め層41を形成させる。

【0062】ここで、成長温度を780℃に設定し、成長圧力760 Torrで、n型光閉じ込め層41表面に、In_{0.2}Ga_{0.8}N（厚さ3nm）井戸層とIn_{0.05}Ga_{0.95}N（厚さ5nm）バリア層とからなるアンドープMQW層42（井戸数3個）を成長させる。そして、成長温度を1050℃に設定し、成長圧力を100 Torrに下げ、アンドープMQW層42表面に、Mgがドーパされたp型のAl_{0.2}Ga_{0.8}N（Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ20nm）からなるキャップ層43を形成させる。

【0063】次に、成長温度1050℃において、成長圧力を760 Torrに上げて、キャップ層43表面に、Mgがドーパされたp型のGa_{0.9}N（Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ0.1 μ m）からなるp型光閉じ込め層44を形成させる。そして、成長温度1050℃において、成長圧力を100 Torrに下げ、p型光閉じ込め層44表面に、Mgがドーパされたp型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N（Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ0.5 μ m）からなるp型クラッド層45を成長させる。

【0064】次に、成長温度1050℃において、成長圧力を1400 Torrに上げて、p型クラッド層45表面に、Mgがドーパされたp型のGa_{0.9}N（Mg濃度 2×10^{17} 、厚さ0.1 μ m）からなるp型コンタクト層46を成長させる。上述した各層の製造順序により、LD構造を順次形成させる。

【0065】また、ドライエッチングにより、p型クラッド層45及びp型コンタクト層46を含んだメサ型47を部分的に残した構造を形成した後、SiO₂絶縁膜4

8を積層し、メサ部分の頭出しを露光技術により行い、リッジ構造を形成した。さらに、n型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N基板39裏面には、Ti/Alからなるn電極49を形成させる。そして、pコンタクト層46表面には、Ni/Auからなるp電極50を形成させる。

【0066】また、さらに、第5の実施形態では、n型のAl_{0.1}Ga_{0.9}N基板39を用いたが、代わりに、サファイア、SiC、Ga_{0.9}Nなどでもよく、半導体基板の電気的な極性もp型でもi型でも良い。

10 【0067】加えて、第5の実施形態では、n型クラッド層40、キャップ層43及びp型クラッド層45等のAlGa_{0.9}Nの成長圧力を100 Torrにしたが、760 Torr以下であればよく、好ましくは300 Torr以下であればよい。また、AlGa_{0.9}N以外の層における成長圧力は、760 Torrとしたが、300 Torr以上であればよく、常圧以上でもよい。

20 【0068】上述したように、第4の実施形態の半導体レーザによれば、300 Torr以下の低圧力でAlGa_{0.9}Nの層の成長を行うことにより、TMAとアンモニアとの中間反応が抑制される。これにより、AlGa_{0.9}Nの層におけるAl組成、成長レート、Mgドーピング濃度等の面内不均一性が解消され、製造における窒化物半導体素子の歩留まりを向上させることができる。

30 【0069】また、第4の実施形態の半導体レーザによれば、p型コンタクト層46の形成時に成長圧力を300 Torr以上とすることにより、実効的な窒素原料の圧力が大きくなり、AlGa_{0.9}Nの層からの窒素抜けの少ない窒化物半導体の実現できる。このような窒素抜けの少ない窒化物半導体のAlGa_{0.9}Nの結晶により、p型コンタクト層46とp電極50とでコンタクトをとると、窒素抜けしたpコンタクト層のコンタクト抵抗に比較して、コンタクトの抵抗値を低く（従来と比較して1桁以上）抑えることが可能となる。

【0070】以上、本発明の第1の実施形態～第5の実施形態を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等があっても本発明に含まれる。

【0071】

40 【発明の効果】上述したように、本発明によれば、AlGa_{0.9}Nをより低圧力で成長を行うことで、TMAとアンモニアとの中間反応が抑制されて、Al組成、成長レート、Mgドーピング濃度等の面内不均一性が解消され、窒化物半導体素子の歩留まりを改善できる。

50 【0072】また、本発明によれば、pコンタクト層形成時に成長圧力を大きくすることで、実効的な窒素原料の圧力が大きくなり、窒素抜けの少ない窒化物半導体の実現できる。このような窒素抜けの少ない窒化物半導体の結晶でp型コンタクト電極をとると、窒素抜けしたpコンタクト層のコンタクト抵抗に比べて、抵抗値を一桁

程低く抑えることが可能となる。これにより、半導体レーザーやLED等の動作電圧を低減でき、素子寿命も改善することが可能である。従って、本発明によると動作電圧が低く、長寿命かつ素子歩留まりが向上し、量産向けの窒化物半導体素子が容易に実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施形態による半導体レーザー（窒化物半導体発光素子）の断面構造図である。

【図2】 本発明の第2の実施形態による発光ダイオード（窒化物半導体発光素子）の断面構造図である。

【図3】 本発明の第3の実施形態による半導体レーザー（窒化物半導体発光素子）の断面構造図である。

【図4】 本発明の第4の実施形態による発光ダイオード（窒化物半導体発光素子）の断面構造図である。

【図5】 本発明の第5の実施形態による発光レーザー（窒化物半導体発光素子）の断面構造図である。

【図6】 従来例による窒化物系化合物による半導体レーザーの断面構造図である。

【符号の説明】

- 1 n型基板
- 2 n型クラッド層
- 3 n型光閉じ込め層
- 4 MQW活性層
- 5 p型キャップ層
- 6 p型光閉じ込め層
- 7 p型クラッド層
- 8 p型コンタクト層
- 9 メサ型
- 10 SiO₂絶縁膜
- 11 n電極
- 12 p電極
- 13 n型基板
- 14 n型クラッド層
- 15 活性層
- 16 p型クラッド層

- 17 p型コンタクト層
- 18 n電極
- 19 p電極
- 20 n型基板
- 21 n型クラッド層
- 22 n型光閉じ込め層
- 23 MQW活性層
- 24 p型キャップ層
- 25 p型光閉じ込め層
- 26 p型クラッド層
- 27 p型コンタクト層
- 28 メサ型
- 29 SiO₂絶縁膜
- 30 n電極
- 31 p電極
- 32 n型基板
- 33 n型クラッド層
- 34 活性層
- 35 p型クラッド層
- 36 p型コンタクト層
- 37 n電極
- 38 p電極
- 39 n型基板
- 40 n型クラッド層
- 41 n型光閉じ込め層
- 42 MQW活性層
- 43 p型キャップ層
- 44 p型光閉じ込め層
- 45 p型クラッド層
- 46 p型コンタクト層
- 47 メサ型
- 48 SiO₂絶縁膜
- 49 n電極
- 50 p電極

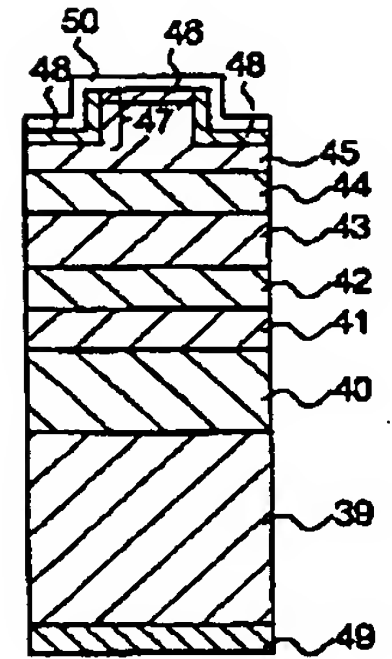
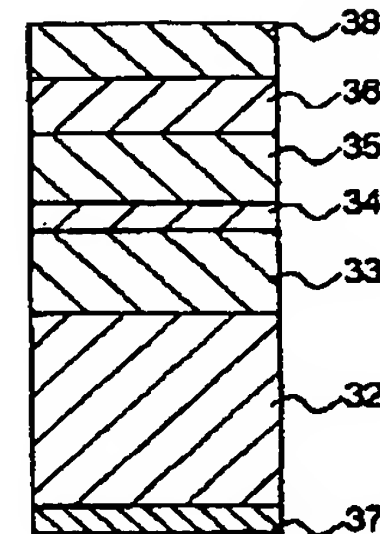
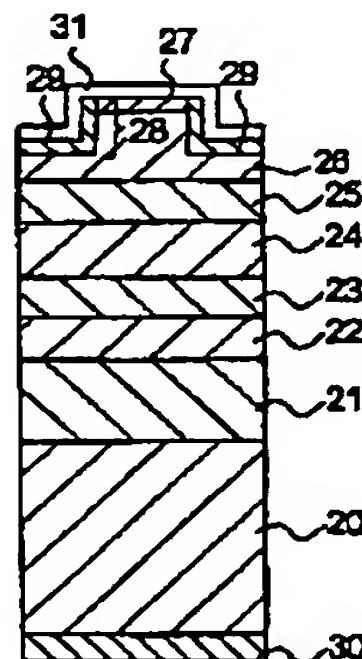
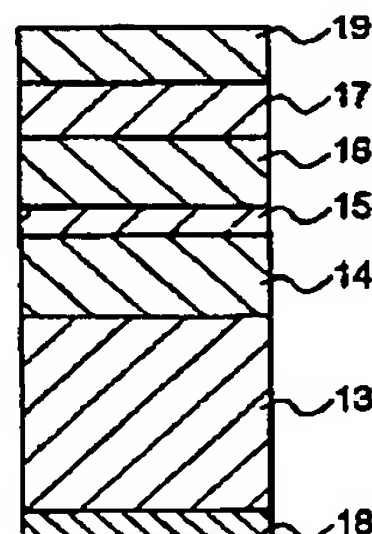
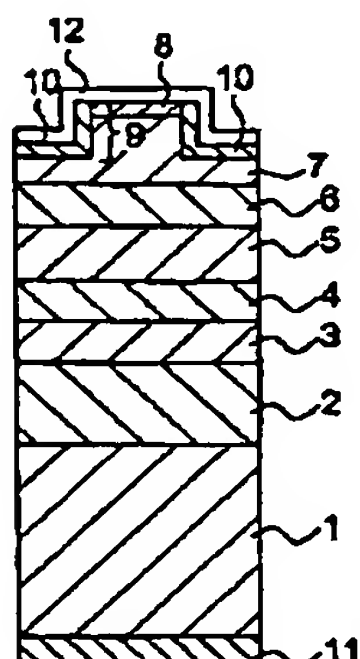
【図1】

【図2】

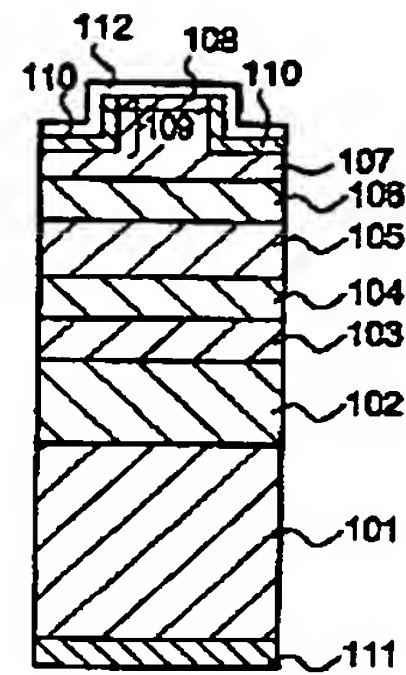
【図3】

【図4】

【図5】



【図6】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4M104 AA03 AA04 AA07 AA09 BB05
BB14 CC01 DD21 FF03 FF13
GG04 HH15
5F041 AA24 AA44 CA04 CA05 CA33
CA34 CA40 CA46 CA65 CA99
5F073 AA13 AA74 CA07 CA17 CB02
CB04 CB05 CB10 DA05 EA28

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.